

TARTU ÜLIKOOL
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT
ZOOLOOGIA OSAKOND
LOOMAÖKOLOOGIA ÕPPETOOL

Ksenia Bogdanova

KESKKONNASAASTE MÕJU FENOTÜÜBI KUJUNEMISELE SELGROOGSETEL

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Vallo Tilgar

Tartu 2019

Infoleht

Iga elusorganism on seotud ümbritseva keskkonnaga.

Looduslike ökosüsteemide saastumine on inimeste poolt kahjulike ainete otsene või kaudne keskkonda viimine, mis mõjutab loomade ja taimede tervist, vee ja õhu kvaliteedi halvenemist. Saasteained, mis on bioloogiliste süsteemide võõrkehad, põhjustavad taimedes, loomades ja inimorganismides soovimatuid protsesse, mis lõppkokkuvõttes alluvad mutageensetele, terratogeensetele, üldistele toksilistele ja embrüotoksilistele toimetele. Enam kui teised kahjulike mõjude suhtes tundlikud on loomade regulatiivsüsteemid – endokriinsed organid, immuun- ja närvisüsteem.

Käesoleva töö eesmärgiks on anda ülevaade, keskkonnasaaste mõjust fenotüübi kujunemisele selgroogsetel.

Every living organism is associated with the surrounding environment.

Contamination of natural ecosystems is the direct or indirect release of harmful substances by humans, affecting animals and plants, deteriorating water and air quality and reducing their beneficial properties. Pollutants, which are foreign bodies of biological systems, cause unwanted processes in plants, animals, and human organisms, ultimately subject to mutagenic, terratogenic, general toxic and embryotoxic effects. Animal regulatory systems are more than other susceptible to harmful effects - endocrine, immune and nervous systems.

The aim of this work was to give an overview of the impact of environmental pollution on the development of the phenotype on vertebrates.

Sisukord

| | |
|---|----|
| Infoleht | 2 |
| 1. Sissejuhatus | 4 |
| 2. Saastetüübid | 6 |
| 3. Saaste mõju kognitiivsetele ja reproduktiivsetele omadustele | 8 |
| 3.1 Väliskeskkonna (ilmastik, valgus) mõju sigimisfunktsioonidele | 8 |
| 3.2 Keemiliste ainete mõju (bisfenool A, DDT, PCB, radioaktiivsed isotoobid)..... | 9 |
| 3.3 Keskkonna mõju sugude suhtele ja sugulise valikuga seotud tunnustele | 12 |
| 4. Keskkonnasaaste mõju keha reguleerivatele süsteemidele, arengulisele plastilisusele ja ellujäämisele | 15 |
| 4.1 Kahjulike kemikaalide klassifikatsioon, organismi kaitsemehhanismid mürkide vastu, mürgiste ühendite mõju fenotüübile ja genoomile..... | 15 |
| 4.1.1 Loomade kaitsemehhanismid mürgiste ainete neutraliseerimisel | 16 |
| 4.1.2 Mürgiste ainete neutraliseerimine ja keemiline muundamine | 16 |
| 4.1.3 Mürgiste ainete mõju fenotüübi arengule | 17 |
| 4.2 Keskkonnasaaste mõju fenotüübi arengule..... | 20 |
| 4.2.1 Öhusaaste..... | 20 |
| 4.2.2 Mürkkemikaalide mõju | 21 |
| 4.2.3 Antibiootikumijäägid keskkonnas | 23 |
| 4.2.4 Radioaktiivne kiirgus..... | 23 |
| 4.2.5 Valgusreostus | 24 |
| 4.3 Keskkonnastressi mõju organismide psühholoogilistele funktsioonidele | 26 |
| 5. Kokkuvõte | 27 |
| 6. Tänuavaldused..... | 30 |
| 7. Kasutatud kirjanduse loetelu | 31 |

1. Sissejuhatus

Keskkonnareostuse tõttu väheneb toidubaas, halveneb elupaikade kvaliteet ja loomade erinevates kudedes akumul eeruvad kahjulikud ühendid. Kokkuvõttes põhjustab see loomadel kõrvalekaldeid arengus, tervise halvenemist, mutatsioone, oodatava eluea vähenemist ja tervete ökosüsteemide ja bioloogiliste liikide kadumist Maa pinnalt (Danilov-Danilyan, 2010).

Loomad on tugeva surve all, kui keskkond, milles nad elavad, muutub kiiresti. Isegi madal saastetase võib mõjutada loomade käitumist, füsioloogilist seisundit, geneetilisi omadusi ja tekitab häireid ontogeneesis (Lovett et al., 2009).

Töö asjakohasus. Organismi areng on lahutamatult seotud kahjulike keskkonnateguritega - ksenobiootikumide, toksiinide, mürkide ja õhureostusega - , mis võivad põhjustada organismi reguleerimissüsteemides talitlushäireid ja mutatsioone nukleiinhappemolekulides. Viimastel aastakümnetel on avaldatud väga palju teadusartikleid, mis näitavad mürgiste ainete ja õhusaaste negatiivset mõju loomade tervislikule seisundile ja sigimisedukusele. Vähem on kirjeldatud mehhanisme, mis selgitavad hormonaalsete, geneetiliste ja epigeneetiliste reaktsioonide kombineeritud mõju järglaste fenotüübi kujunemise erinevatele aspektidele - loomade kasvukiirusele, sugude suhtele, sekundaarsete sugutunnuste tekkele, kognitiivsetele ja reproduktiivsetele omadustele ning elueale.

Keskkonnasaaste avaldab loomapopulatsioonidele üha suuremat negatiivset mõju, mistõttu tasub põhjalikult kaardistada juba toimunud muutusi ja prognoosida üha suureneva saastekoormuse tagajärgi erinevatele selgroogsetele loomarühmadele.

Tööülesanded:

- anda ülevaade keskkonnasaaste mõjust imetajate ja lindude morfoloogiale, kehasuurusele ja kasvukiirusele;
- anda ülevaade saaste mõjust kognitiivsetele ja reproduktiivsetele omadustele;
- anda ülevaade saasteainete tüüpidest ja nende kahjulikust mõjust raku ja kudede tasandil;
- anda ülevaade saasteainete mõjust organismi reguleerivatele süsteemidele (füsioloogiline seisund, immuunsüsteem).

Teaduslik uudsus. Kirjeldatakse saasteainete kahjulikku mõju fenotüübi kujunemisele nii populatsiooni, organismi kui ka raku tasandil.

Praktiline tähtsus. Selle töö tulemusi saab kasutada nii hariduslase kirjanduse kui ka loomade füsioloogia ja geneetika-alaste teadusartiklite kirjutamisel. Kaardistatakse väheuuritud keskkonnasaaste valdkondi ja prognoositakse suureneva saaste negatiivset mõju järglaste fenotüübilistele tunnustele ning loomapopulatsioonide seisundile.

2. Saastetüübid

Keskkonnasaaste tüüpe on väga erinevaid. Loetlen lühidalt mõningaid tähtsamaid.

Soojusreostus on ümbritseva õhu temperatuuri muutus, mis on tingitud kuumutatud või jahutatud gaaside, õhu, vee keskkonda sattumisest. Näiteks on sooja vee vabastamine erinevatest elektrijaamadest (soojus-, tuumaelektrijaamad, katlad) veekogudes. Temperatuuri tõus avaldab märkimisväärset mõju veekogude termilistele ja bioloogilistele režiimidele, rikutakse kala kudemise tingimusi, suureneb nende nakatumine parasiitidega, väheneb vees lahustunud hapniku kogus jne (Raptis, Vliet, Pfister, 2016).

Valgusreostus - keskkonna loomuliku valgusrežiimi muutus, mis mõjutab elusorganismide aktiivsusrütme. Vee hägususe suurenemine vähendab valguse tungimist sügavamatesse veekihtidesse ja vähendab veetaimede fotosünteesi (Matantseva, 2004).

Mürasaaste. Heli füüsilise nähtusena on laine liikumine. Müra on igasugused helid, mis häirivad kasulike helide tajumist või rikuvad vaikust (Uddin, 2018).

Mehaaniline reostus - keskkonna saastumine materjalidega, mis avaldavad tagajärgi ainult mehaaniliselt. Näitena võib tuua veekogude muldumist pinnasega, tolmu sattumine atmosfääri, ehitusjäätmete viimine prügimäele. Esmapilgul võib selline reostus tunduda kahjutu, kuid see võib põhjustada mitmeid keskkonnaprobleeme, mille kõrvaldamine nõuab märkimisväärsed majanduslikke kulusid (Danilov-Danilyan, 2010).



Joonis 1. Reostumise võimalused

Bioloogiline saastumine jaguneb bakteriaalseks ja orgaaniliseks.

Bakteritega saastumine - patogeenide sattumine keskkonda, mis aitavad kaasa selliste haiguste nagu hepatiit, koolera, düsenteeria ja muud haigused, levimisele. Saasteallikad võivad olla ebapiisavalt saastunud reovesi, mis lastakse veekogusse (Elliott, M. 2003).

Orgaaniline reostus - näiteks veekeskkonna reostumine käärivate ainetega, mädanemine: toidujäätmed, tselluloosi- ja paberitootmine.

Bioloogiline reostus hõlmab ka loomade üleviimist või levimist uutesse ökosüsteemidesse, kus nende looduslikud vaenlased puuduvad. Selline ümberpaiknemine võib viia ümberpaigutatud loomade arvu plahvatusliku suurenemiseni ja omada ettearvamatuid tagajärgi.

Geoloogiline reostus - geoloogiliste protsesside, nagu veepuhastus, territooriumi äravool, maalihete, maalihete tekkimine, maapinna allakäik inimtegevuse mõjul jne. Sellised rikkumised on tingitud kaevandamisest, ehitamisest, vee- ja kanalisatsioonitorustiku lekkimisest transpordi ja muude mõjude vibratsiooniefektide tõttu (V.I. Danilov-Danilyan, 2010).

Keemiline reostus - keskkonna looduslike keemiliste omaduste muutus tööstusettevõtete, transpordi ja erinevate saasteainete põllumajanduse heitkoguste tõttu. Näiteks süsivesinike (kütuste heitgaaside) sattumine atmosfääri, pinnase saastumine pestitsiididega ja töötlemata reovee heide veekogudesse. Üks ohtlikumaid saasteaineid on raskmetallid ja sünteetilised orgaanilised ühendid (Serdyukova ja Barabanshchikov, 2018).

3. Saaste mõju kognitiivsetele ja reproduktiivsetele omadustele

3.1 Väliskeskkonna (ilmastik, valgus) mõju sigimisfunktsioonidele

Keskkonna mõju loomade paljunemisvõimele võib olla äärmiselt oluline. On mitmeid kliimaga seotud stressitegureid nagu külm, soojus, niiskus, vihm, jää ja tuul, mis võivad mõjutada sisesekretsiooninäärmeid ja mõjutada imetajate paljunemist. Teadlased leidsid otsese seose keskmise õhutemperatuuri ja kodulooma – lehma - paljunemisfunktsioonide vahel (Malyshev, 2009). Jätkuval kokkupuutel kuumastressiga on mitmeid teadaolevaid füsioloogilisi mõjusid, nagu näiteks progesterooni kontsentratsiooni suurenemine lehmade vereplasmas, mille tulemuseks on loodete arenguga seotud probleemid. Kuumastress vähendas tiinetel lehmadel östrogeeni taset, kuid suurendas progesterooni kontsentratsiooni, mis põhjustas lõpuks vasika sünnikaalu alandamise ja seejärel vähendas piimatootlikkust (Bova et al., 2014). Vähendatud progesterooni kontsentratsioon pärast seemendamist mõjutab ka ovulatsiooni ja viljastatud munarakkude ellujäämist (Malyshev, 2009). Madalamad temperatuurid jällegi põhjustavad loomade kehakaalu ja rasvkoe olulist vähenemist. Reproduktiivsete omaduste arengu seisukohalt on oluline pärilikkus, mis määrab organismi erineva resistentsuse keskkonnatingimuste muutustele (Malyshev, 2009).

Äärmuslikud ilmastikutingimused, halb toitumine (s.o valgu, vitamiinide ja muude oluliste toitainete suboptimaalne tase) ja dehüdratsioon põhjustavad rasvavarude ammendumist, kehva kehalist seisundit (Beldomenico et al., 2008) ning võivad vähendada kaasasündinud ja omandatud immuunvastuseid. Tansaania pika põua aeg oli seotud ebatavaliselt kõrge noorte elegantide (eriti isastega) suremusega. Energiavajaduste rahuldamine (toit, vedelik) võib mõjutada teiste füsioloogiliste protsesside vajadusi, nagu immuunsus, kasv, hooldus ja paljunemine, isegi kui selline prioriteetide jaotus võib viia populatsiooni arvukuse vähenemiseni (Acevedo-Whitehouse ja Duffus, 2009).

Loodusliku valguse tsüklid on kõige tugevamad ja prognoositavamad keskkonna kõikumised, mida organismid tavaliselt kogevad. Kunstliku valgustuse kasutamine on toonud kasu inimkonnale. Kuid see katkestas ka looduslike päevaste, hooajaliste ja kuufaasidega seotud valgustsüklite mõju elusorganismide bioloogilistele rütmidele. Näiteks kunstliku valguse tõttu pikenes muusträsta (*Turdus merula*) päevane aktiivsuseperiood ja nihkus varasemaks sigimisaeg (Gaston et al., 2017). Perioodilised tsüklid mõjutavad paljudel loomadel geeniekspressiooni, metaboolseid või füsioloogilisi protsesse, kehalist aktiivsust, ressursside omandamist või paljunemist (Gaston et al., 2017).

3.2 Keemiliste ainete mõju (bisfenool A, DDT, PCB, radioaktiivsed isotoobid)

Erinevad keemilised ühendid on võimelised tugevalt häirima hormonaalsüsteemi. Need on reeglina sünteetilise päritoluga ained, millel on tööstuslik päritolu (Serdyukova ja Barabanshikov, 2018).

Bisfenooli A kasutatakse tööstuses pikka aega plastmaterjalide valmistamisel kõvendi kujul. Aine lisatakse paljude plastpakendite tootmisel, samuti kasutatakse seda hambaravipreparaadi täitematerjali tihenduslisandina (Biello, 2008). Nagu hiljutised uuringud näitavad, on isegi väikeste bisfenool A kontsentratsioonide negatiivsed mõjud väga erinevad ja peaaegu võimatu on leida selgroogset, kellel ei ole kehas seda keemilist ühendit (Darbre 2018). Bisfenool A-d leidub kõigis bioloogilistes kehavedelikes, veres, rinnapiimas, amnionivedelikus, kus selle kontsentratsioon on mitu korda suurem kui ema vereseerumis (Ikezuki, 2002). Uurijad märkisid, et bisfenool A kontsentratsioon on noorte loomade organismis, kelle immuun- ja kaitsesüsteemid veel puuduvad, oluliselt kõrgem kui täiskasvanud loomades (Calafat, 2008).

Inimesel pärsib bisfenool A munarakkude küpsemist ja võib põhjustada viljatust (Bin Liu et al., 2017). Loomkatsetes suurendas bisfenool kromosomaalsete mutatsioonide esinemissagedust munarakkudes (Machtinger, 2013). Viie aasta jooksul uuriti Hiinas seoseid tehasetöölise sperma kvaliteedi ja uriinis oleva bisfenool A sisalduse vahel. Selgus, et bisfenool A suurenenud kontsentratsioon uriinis vähendab spermatooside kontsentratsiooni, elujõulisust ja liikuvust – seega vähendab viljastamise tõenäosust. Lisaks avastati bisfenooli A võime stimuleerida homoseksuaalsete tendentsidega järglaste sündi (Erler ja Novak, 2010).

Eksperimentides hiirtega (*Mus musculus*) tehti kindlaks bisfenooli mõju östrogeenireseptoreid kodeerivate geenide metülatsoonile, mis mõjutab östrogeeni seostumist retseptoritega ja hormooni funktsionaalsust. Sellepärast sündisid isased hiired naiselike kalduvustega, isas- ja emasloomade käitumise erinevus vähenes või isegi kadus (Kundakovic, 2013).

Loomade ontogeneetilist arengut mõjutavad ka raskmetallid, mis satuvad organismi toidust. Need ei kogune võrdselt loomade, lindude ja putukate liikide vahel ning erinevate organite ja kudede vahel. Näiteks imetajatel (sealhulgas inimesetel) koguneb jood kilpnäärmesse, strontsium aga skeleti. Koduloomade puhul on rohkem strontsiumi ja tseesiumi leitud veiste kui sigade lihaskoes (Mashkov, 2001). Kõige vähem koguneb radionukliide rasvkoesse. Loomade kehasse sattunud mitmesugused radioaktiivsed ained jäävad sinna püsima väga erinevaks ajaks: alates paarist päevast kuni mitme aastani (Iljina ja Filova, 1990). Väga suured annused põhjustavad imetajate surma, väiksemad põhjustavad haiguste, geneetiliste muutuste,

seksuaalsete häirete, paljunemisvõimetuse tekke ja/või tiinuse (raseduse) katkemise. Näiteks leiti, et jood-131 Tšernobõli avarii algusperioodil põhjustas kilpnäärme patoloogilisi muutusi 30 kilomeetri tsooni jäänud lehmades (*Bos taurus taurus*), veel esines ka kaalulangus ja suurenes suremus. Esimese 1-1,5 aasta jooksul pärast õnnetust vähenes piima tootlikkus 2-3 korda, mis hakkas taastuma 2 aasta jooksul. Ühe aasta jooksul pärast õnnetust suurenes loomadel c-AMP aktiivsus ja trombotsüütide osmootiline resistentsus, mis näitab rakumembraanide seisundi muutust. Muutustega kaasnes kilpnäärme aktiivsuse vähenemine. Loomade resistentsus haiguste suhtes vähenes (immunoloogilised muutused). Saastunud aladel elutsenud rottidel (*Rattus norvegicus*) täheldati munandite kahjustusi ja struktuurseid muutusi siseorganites, nende erütrotsüütides suurenes mikrotuumade arv. Eriti tundlikud kiirguse mõjule olid ainevahetusprotsessid (Tikhomirov, 1983).

Uuringutes, kus kasutati (diklorodifenüültriikloroetaan) DDT väikeseid annuseid, täheldati mõõdukaid muutusi Wistari rottide (*Rattus norvegicus domestica*) tuumuse morfofunktsionaalsetes omadustes, mille tõttu suureneb lümfotsüütide ja maksarakkude hävimine. See viitab väikeste DDT annuste negatiivsele mõjule tuumuse funktsioonile (Rodichenko, 2013).

Polükloor-bifenüülid (PCBd) kogunevad inimeste ja loomade rasvkoos. Kõrgeimad ksenobiootilised kontsentratsioonid esinevad kalades, kalaõlis, hüljeste lihas ja rasvas, vaalade ning kalatoiduliste lindude hulgas, isegi identifitseeritud monokkala (*Lophius piscatorius*) ja mustade nuhtlite (*Aphanopus süsinik*) erinevates organites, mis on püütud 600–1150 m sügavusel (Mormede ja Davies, 2001). PCB-del on kantserogeenne toime elusorganismidele: rottidel tekkisid ksenobiootikumidega kokkupuutes maksakasvajad (Sleight, 1985). Samuti PCB-ga kokku puutunud reesusahvide (*Macaca mulatta*) populatsiooni epidemioloogilises uuringus tuvastati ksenobiootikumide embrüotoksiline toime. Järglaste suremus suurenes, vastsündinute kehakaal langes, kaasasündinud väärarengutega järglaste arv suurenes (Schell et al, 2005).

PCB-de mõju inimese tervisele on uuritud Jaapanis ja Taiwanis. Ksenobiootilise toimega, nn saastunud riisõli tarbimise tõttu täheldati erinevate haiguste esinemist: u-sho tõbi Jaapanis ja u-cheng tõbi Taiwanis (u-chengi tõbe põhjustas dioksiinide olemasolu riisõlis, mis tekkisid PCB-de lagunemise tulemusena) (Revich, 2004). Kokku kannatas umbes 4 tuhat inimest. Haigust iseloomustasid üldine kurnatus, peavalu ja hingamisraskused, vähenenud tundlikkus, pärsitud refleksid või nende puudumine. Haigetel naistel sündisid paljudel juhtudel lapsed enneaegselt ja vastsündinutel oli tume nahk ("mustad lapsed" - *black babies*) ja vähenenud kehakaal. Kaasasündinud väärarengutega laste arv suurenes samuti. U-sho patsientide pikaajalistes uuringutes leiti, et suremus maksahaigustesse suurenes mitmekordselt (Revich, 2004).

Eksperimentaalsete uuringutega tehti kindlaks, et saasteained võivad põhjustada rakkudes epigeneetilisi häireid ning neil on suur mõju reproduktiivsetele funktsioonidele (Linzey, 1988).

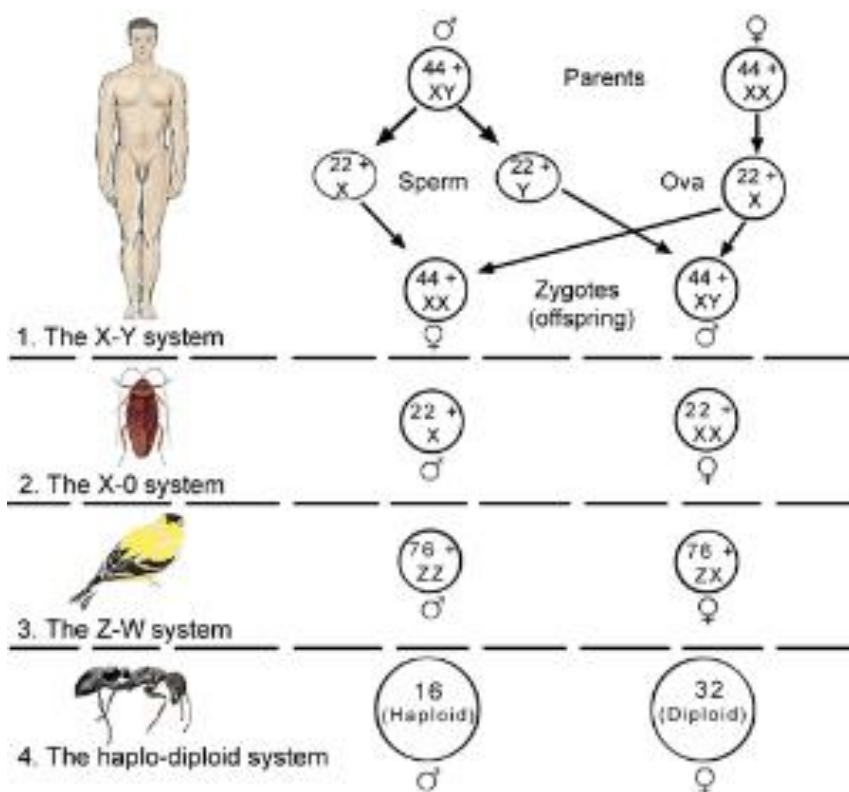
3.3 Keskkonna mõju sugude suhtele ja sugulise valikuga seotud tunnustele

Perioodilised muutused keskkonnas (valgus, temperatuur, toidu koostis) põhjustavad loomadel teatud füsioloogiliste reaktsioonide kordumist ja muutusi. Selliseid reaktsioone nimetatakse hooaja- või ööpäevarütmiks. Näiteks loomadel on reproduktiivfunktsioonide hooajaline rütm märkimisväärselt väljendunud. Loomade käitumise üldise ööpäevase rütmi kujunemine sõltub päevasest režiimist, välistemperatuurist.

Bioloogilise arengu eesmärk on suurendada sigimisfunktsiooni efektiivsust. Mõnedel liikidel on sesoonselt ennustatav sigimisvalmidus, teistel on sigimisperioodi aeg ja kestus labiilsed ning mõned liigid paljunevad vastuseks muutunud elupaigatingimustele (Hill, 2019).

Hiljutised uuringud näitavad, et isegi väiksed sesoonsed muutused lindude päevavalguse pikkuses võivad stimuleerida sugunäärmete arengut ja lindude rändeseisundit (Brashears, 2012).

Lindude sugu määrab W-kromosoomi olemasolu või puudumine, mis on sarnane imetajate Y-kromosoomile. Emalinnud on heterosügootsed (ZW kromosoomid) ja isalinnud on homosügootsed (ZZ kromosoomid), s.t. vastupidi imetajatele (Komdeur ja Pen, 2002).



Joonis 1. Soo määramine erinevates loomariühmades (Fredrik, 2013)

Tuleb märkida, et prenataalsel (loode areneb munas) perioodil ei ole lindude sugupoolte välimus erinev (Panagiota, 2006).

Tänu epigeneetiliste uuringute kasutamisele ja geeni aktiivsuse analüüsimiseks vajalike molekulaarsete tehnoloogiate tekkimisele on oluliselt suurenenud teadmised selgroogsete

loomade seksuaalse diferentseerumise regulatsiooni kohta. Selgroogsete loomade soo määramise mehhanisme võib jagada kaheks: genotüübi ja keskkonna määramine.

Need kaks loomade soo määramise tüüpi on kaks vastandit, mille vahel on palju üleminekuvorme. Sugude genotüüpsel määramisel imetajatel, lindudel, paljudel roomajatel ja kaladel on üks sugu homogameetiline (kaks ühesugust kromosoomi) ja teine sugu on heterogameetiline (erinevat tüüpi sugukromosoomid) (Sarah, 2002).

Soo määramine keskkonna poolt tähendab, et isendi sugu määratakse keskkonna tingimuste alusel varases embrüogeneesis pöördumatult: temperatuur, pH, soolsus, sotsiaalsed tingimused, arengustaadium. Tuleb siiski märkida, et paljude kalaliikide puhul on soo vahetumine pärast esmast määramist osa normaalsest elust ja seda põhjustavad erinevad keskkonnavalased stiimulid (Sarah, 2002).

Eeldatakse, et sugude suhe järglastel peaks kalduma suhtele 1: 1, kuid sageli, kui keskkond mõjutab soo määramist, on täheldatud nihet isaste või emaste kasuks. Hiljuti avastati, et põllumajanduspiirkondadest pärinevate kärnkonnade isased muudavad oma sugu pestitsiidide mõjul (Rohr ja McCoy, 2009). Uuring näitab põllumajanduses kasutatavate kemikaalide negatiivset mõju konnade ja kärnkonnade reproduktiivfunktsioonidele. Ühele uurimisalale, kust merikärnkonnad (*Rhinella marina*) olid püütud, istutati suhkrupeedi ja muid köögivilju. Ülejäänud kolmel katsealal osutus põllumaade ja looduslike maade hulk umbes samaks ning üks uurimisala asus suure linna äärelinnas. Aastatel 2005 ja 2006 kogusid teadlased igast kohast 20 merikärnkonna. Selgus, et mida suurem on põllumajandusmaa osatähtsus merikärnkonna elupaigas, seda rohkem esines kõrvalekaldeid sugude suhtes. Esines ka “interseksuaalseid” isendid, kellel oli nii meessoost kui ka naissoost sugutunnused (Rohr ja McCoy, 2009). Isegi neil kärnkonnadel, kelle sugu võiks kindlaks määrata, leidsid teadlased märgatavaid eripärasid – nende värvus sarnases emastele (Rohr ja McCoy, 2009).

Esimest korda täheldati seda efekti USA-s isastel leopardikonnades (*Lithobates pipiens*), mis äkki hakkasid muutma oma sugu pestitsiidide mõjul (Acevedo-Whitehouse ja Duffus, 2009). Mõned uurimisrühmad usuvad, et kahepaiksete seksuaalsete kõrvalekallete põhjuseks on östrogeenitaolised ühendid, mis satuvad keskkonda majapidamisjäätmete ja äravisatud ravimitega (Rohr ja McCoy, 2009).

Habe-draakonil (*Pogona vitticeps*) määravad sugu sugukromosoomid (ZZ-kromosoomid isastel, ZW-emastel), kuid laboratoorsetes katsetes näidati, et kõrgematel temperatuuridel muudavad isased looted sugu ja neist saavad emased. Nagu selgus, on see viimastel aastatel juhtunud mitte ainult laboratooriumis, vaid ka sisaliku looduslikes populatsioonides. Võib-olla on see tingitud kliimamuutusest. Fertiilsete emasloomade arvu suurenemine isase kromosoomikomplektiga (ZZ) loob eeldused naissoost W-kromosoomi

täielikuks kadumiseks, mistõttu liik võib muutuda peamiselt kromosomaalsest soo määramisest puhtalt termiliseks. Üleminek võib toimuda geneetiliste automaatsete protsesside tõttu, olenemata sellest, milline kahest soo määramise meetodist on sisalikele soodsam. (Modi ja Crews, 2005).

Krokodilliliikides, millest kõige uuritum on Ameerika alligator (*Alligator mississippiensis*), põhjustavad nii madalad kui ka kõrged temperatuurid emaste sünni, isaste sünni soodustavad aga keskmised temperatuurid (Quinn, 2007).

Keskkonnasaaste võib lisaks mõjutada ka sugulise valikuga seotud tunnuseid. On teada, et looduslikud ja sünteetilised östrogeenid sisalduvad kontsentreeritud kogustes reovees. Sageli satuvad need ained pinnases elavate selgrootute (näiteks vihmausside) kaudu paljude laululindude, kaasa arvatud kuldnoka (*Sturnus vulgaris*) organismi. Hiljutine uuring kinnitas, et DDT võib tugevalt mõjutada laulmisega seotud närvikeskusi ajus (laulmiskeskused). Seda tõestati katseliselt, manipuleerides looduslikult püütud kuldnokki EDS-doosiga (*endocrine disrupting chemical*) ja hinnates mõju immuunfunktsioonile ja laulumisele. (Markman et al, 2008). Evolutsioonilisest vaatenurgast näitasid uurimistulemused, et keskkonnasaastest põhjustatud hormonaalsed muutused võivad muuta sugulise valiku tunnust – linnulaulu kvaliteeti – laululindudel. Uuring näitas, et emased eelistavad isaseid, keda on EDS-ga mõjutanud, kuna nende laulurepertuaar suureneb (Markman et al, 2008). Emased eiravad asjaolu, et sellistel isastel on immunosupressioon. See võib põhjustada linnupoegade arvu vähenemist ja kahjulikke tagajärgi populatsioonile. (Tagirov, 2013)

4. Keskkonnasaaste mõju keha reguleerivatele süsteemidele, arengulisele plastilisusele ja ellujäämisele

4.1 Kahjulike kemikaalide klassifikatsioon, organismi kaitsemehhanismid mürkide vastu, mürgiste ühendite mõju fenotüübile ja genoomile

On tõestatud, et erinevad reostusallikad põhjustavad drastilisi muutusi organismisiselt ja ka populatsiooni tasandil. On reaalne oht, et isegi väike täiendav negatiivne sekkumine võib põhjustada biosüsteemi pöördumatut hävitamist (Korsak, 2013). Kahjulike kemikaalide olemasolevad klassifikatsioonid põhinevad erinevatel põhimõtetel, mis arvestavad järgmisi aspekte:

- saasteainete keemiline struktuur;
- agregaatne ainete üldine seisund keskkonnas;
- saasteainete liikumised organismides ja biosüsteemides;
- toksiinide mõju keha rakkudele ja ensüümsüsteemidele;
- mürgisuse tase, aine oht.

Seega klassifitseeritakse ohtlike ainete järgi gaasidele, aurudele, aerosoolidele (vedelad ja tahked).

Keemilise struktuuri järgi on need jaotatud orgaanilisteks ja anorgaanilisteks.

Sõltuvalt elundite ja süsteemide kahjustustest jagunevad kahjulikud ained järgmiselt:

- neurotroopne (mõjutab närvisüsteemi);
- hepatotroopne (kahjustab maksa);
- nefrotoksiline (kahjustab neere);
- kardiotoksiline (südame kahjustamine);
- hematotoksiline.

Mõju järgi elusorganismidele on ksenobiootikumid jagatud:

- üldine mürgine;
- tüütu;
- sensibiliseeriv;
- kantserogeensed;
- mutageenne;
- teratogeenne;
- kahjustab reproduktiivsüsteemi.

Mis tahes elusorganismi rakkudel on ette nähtud geneetiline enesehooldusprogramm, elusorganismil on tugev tendents neutraliseerida sisestatud mürgi, kasutades peamiselt mehaanilisi või keemilisi viise (Skalny ja Agadzanjan, 2001).

4.1.1 Loomade kaitsemehhanismid mürgiste ainete neutraliseerimisel

Mürgid kõrvaldatakse kehast erinevate süsteemide kaudu: kopsud, neerud, seedetrakt, nahk. Organismi kaitsvad refleksireaktsioonid - aevastamine ja köha, süljeeritus, lakkumine ja eriti oksendamine - väldivad mürgide sattumist mao limaskestale. Sellest primaarsest oksendamisest, mis tekib väga kiiresti pärast mürgi sattumist makku, on vaja eristada sekundaarset oksendamist, mis ilmneb mürgi imendumise tulemusena vere ja mao limaskestasse. Sel juhul provotseerib toksiline aine oksendamist. Soolad võivad olla seotud ka toksiinide eemaldamisega kehast. Seedetrakti ja soolte kaudu vabanevad sellised lahustumatud või halvasti lahustuvad ained: plii, elavhõbe, mangaan, antimon. Samuti saab eristada primaarset kõhulahtisust, mis eemaldab veel mitteimendunud mürgi ja teisest kõhulahtisust, mis eemaldab imendunud mürgi. Toksiliste ühendite edasine eemaldamine organismist toimub uriiniga eritussüsteemi kaudu. Paljud mürgid kõrvaldatakse kehast väljaheitega või väljahingatava õhuga (Skalny ja Agadzanjan, 2001). Lenduvad ained vabanevad kopsude kaudu, mis ei muundu ega muutu kehas aeglaselt. Sellised ained, nagu bensiin, etüüleeter, kloroform, eralduvad kiiresti; alkoholid, atsetoon, estrid vabanevad aeglaselt.

Eritamissüsteem - neerud - on mürgiste ainete eemaldamisel kõige tähtsamad. Kuid mõnedel toksilistel ainetel (näiteks elavhõbedal) on neerude tööle nefrotoksiline toime, mis välistab selle keha kaitsesüsteemi (Isidorov, 1999). Raske neerumürgistuse puhul etüleenglükooliga katkeb filtreerimisprotsess neerutorudes, mis vähendab uriini moodustumist. Aeglaselt vees lahustunud ained vabanevad neerude kaudu, nagu arseen ja raskemetallid: plii, elavhõbe, mangaan. Mõned ained erituvad süljega: plii, elavhõbe. Naha kaudu eemaldavad rasvane näärmed kõik rasvlahustuvad mürgid, elavhõbe, vask, arseen, vesiniksulfiid jne (Isidorov, 1999).

4.1.2 Mürgiste ainete neutraliseerimine ja keemiline muundamine

Mürgiste ühendite organismis ümberkujundamise tulemus on enamasti nende neutraliseerimine, vähem toksiliste ainete muutmine. Teatud mürgidega kokku puutudes toimub keharakkudes mürgide kogunemine. Sellega seoses mängib olulist rolli ka maks, kuna see säilitab palju metalle, arseeni, alkaloide, patoloogilisi ensüüme ja toksiine, mis takistab nende saasteainete sattumist teistesse rakkudesse ja kudedesse. Maksas töödeldakse mürke teisteks

ühenditeks ja vabastatakse soolte kaudu. Teistel organitel ja kudedel, neerudel, mao ja soolte seintel, kopsudel jne on võime detoksifitseerida sarnasel viisil (Issels, 2001).

Organismi immuunkaitse seoses implanteeritud mürkidega on põhjustatud fagotsüteerivatest rakkudest, mis on võimelised absorbeerima toksilisi aineid. Need rakud on küllastunud üldise vereringe mürkidega, mis settivad parenhümaatilistesse elunditesse, kust vabanevad aeglaselt (juba kirjeldatud põhimõtteid). Elunditel on antitoksiline toime vere seerumi või spetsiifiliste vere valguühendite, näiteks albumiini, vahendusel.

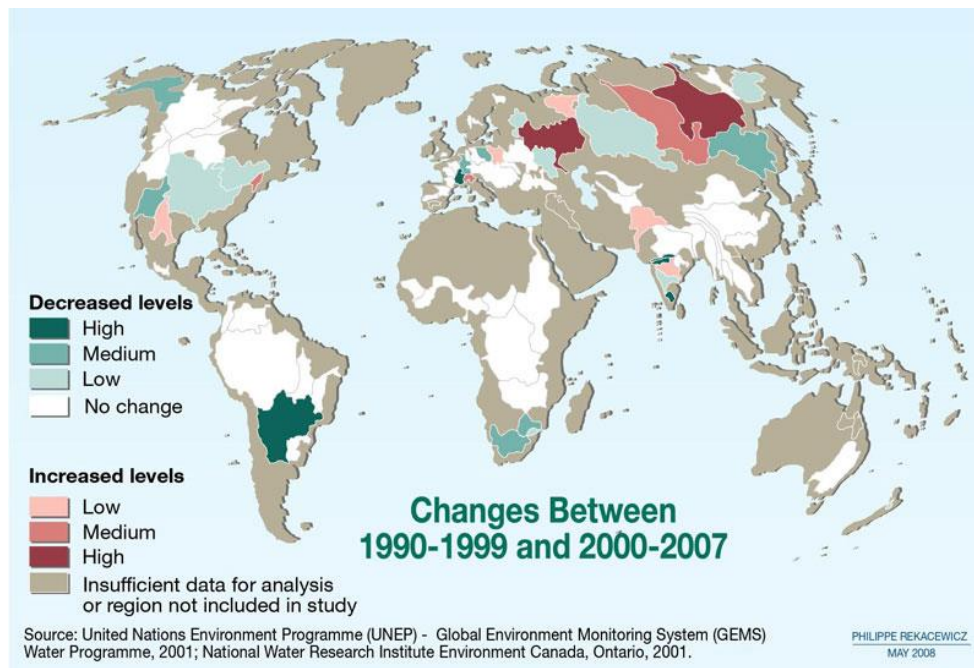
Sageli üritab keha mürgistuse ajal sattunud mürkidest vabaneda, muutes toksiinide keemilist koostist. Nende hulka kuuluvad kahjustatud organismis esinevate ksenobiootikumide neutraliseerimise, oksüdatsiooni, redutseerimise või sügavamate keemiliste muutuste protsessid.

Mürgiseid aineid neutraliseeriva ainevahetuse uurimisel tuleks kaaluda selle sõltuvust mürgistuse tasemest. Väikeste toimingutega on piisav keha kaitsva reaktsiooni reserv. Suureneva kontsentratsiooniga mürkide puhul väheneb järsult keha võime neid neutraliseerida.

4.1.3 Mürgiste ainete mõju fenotüübi arengule

Viimastel aastakümnetel on tööstus- ja põllumajandustootmisprotsessid märkimisväärselt intensiivistunud, mistõttu on keskkonda kogunenud suur hulk mutageenseid ja teratogeenseid saasteaineid. Nende hulgas on eriti olulised keemilised mutageenid - klooritud süsivesinikud, pestitsiidid, nitraadid jne. (Serdyukova ja Barabanshchikov, 2018)

Loodusliku loomasööda saagikuse parandamiseks kasutatavad keemilised väetised ning loomasöödade varude säilitamiseks kasutatav tehnoloogia kujutavad endast loomapopulatsioonidele tõsist ohtu. Suure hulga nitritite ja nitraatide kasutamine toob kaasa nende ühendite kuhjumise pinnases, vees ja loomorganismides (Serdyukova A. F., Barabanshchikov D. A, 2018). Inimesel on näidatud, et paljud mürgised ühendid kahjustavad aju arengut lastel (Lanphear, 2015). Keskkonnamürgid, sattudes toidu või õhu kaudu organismi, võivad stimuleerida rasvkoe teket ja põhjustada ülekaalulisust. Teisalt suitsetavate emade või iasde kaheaastased poisslapsed on väiksema kehamassiga kui mitteduitsetajatel vanematel (Lichtveld et al. 2017). Võib arvata, et sarnased protsessidtoimuvad ka teistel selgroogsetel loomaliikidel, eriti neil, kes elavad linnastunud keskkonnas.



joonis 3. Nitraadisaldus: kontsentratsioonid suudmealadel

Pestitsiidide kasutamine, millel on väga tugevad mutageensed omadused ja mis on resistentsed keemilise ja bioloogilise lagunemise suhtes, põhjustavad kõrget mürgisuse taset ja ka mutatsioonide esinemissageduse suurenemist (Brown et al., 2006).

Loomadele kahjulike kemikaalide loetelu, millega loomad inimtegevuse tagajärjel looduslikus elupaigas kokku puutuvad, on tohutu. Kromosoomide terviklikkust kahjustavate mutatsioonide ja aberratsioonide tekitamises on oluliseks teguriks radionukliidid ja naftatooted.

Keskkonnareostus põhjustab ohtlike patogeenide ja bioloogiliste mutageenide – viiruste – levikut (Serih, 2006).

Bakteriaalsete ja viirusinfektsioonide, inaktiveeritud ja elusate vaktsiinide, seerumite ennetamiseks ja raviks kasutatakse laialdast sünteesitud ravimite farmakoloogiliste ainete arsenali, millel on kindlasti positiivne mõju. Siiski ei tohiks unustada ravimi kõrvaltoimeid, mis võivad ilmned mutatsioonide sageduse suurenemises loomade sugurakkudes ja somaatilistes rakkudes, nende embrüote arenguprogrammi muutustes. Ellujäämise ja elujõulisuse suurendamise asemel väheneb resistentsus, väheneb loomade tootlikkus ja muud kahjulikud mõjud. (Zaitsev, 2005).

Ebasoodne ökoloogiline keskkond, mida iseloomustab ioniseeriva kiirguse taseme tõus, mürgiste keemiliste ühendite toime, suurendab loomade kontakti retroviiruste, vähendatud immuunsuse ja loomade geneetilise aparatuuri ebastabiilsuse tõttu (Galaktionov, 2005). See võib ilmned liikuvate geneetiliste elementide moodustumise vormis, mis on võimelised transformeeruma immuunpuudulikkuse viirusteks, nagu HIV inimestel ja sarnastel viirustel loomadel.

Uute mutatsioonide ilmnemine järgnevatel loomade põlvkondadel on keskkonna mutageenide suureneva mõju näitaja. Et hinnata uute ja vanade varem tekkinud (geneetilise koormuse) mutatsioonide sagedust, on soovitatav kasutada tsütogeneetilist meetodit, monomorfsete valgusüsteemide analüüsi, võtta arvesse kaasasündinud anomaaliate sagedust, embrüote varajase surma sagedust, sugude suhet loomade järglastel. Kromosomaalse aberratsiooni või ebatavalise valgu moodustumine, mis ei olnud seotud loomadel, on tõestus äsja moodustunud mutatsioonist.

Indutseeritud mutageneesi nähtused - mitmete tegurite ja ainete mõju, mis on võimelised muutma rakkude pärilikku materjali vastavalt oma olemusele, jagunevad kolme mutageeni klassi: füüsikalised, keemilised ja bioloogilised.

Füüsikalised mutageenid hõlmavad ioniseerivat kiirgust, ultraviolettkiirgust ja kõrgendatud temperatuuri.

Keskkonna keemilise reostuse oht avaldub otseses ja kaudses toksilisuses elusorganismidele (Voložin, 1998; Hooke, 1988).

Elektromagnetilise kiirguse (EMR) oht seisneb selles, et seda ei ole võimalik tunda, tal ei ole maitset, lõhna ja värvi, kuid see on suure läbitungimisvõimega. Elektromagnetiline kiirgus pärsib immuunsüsteemi, südant, veresooni, endokriinsete närvide ja närvisüsteemi. Pikaajaline kohalolek tema tsoonis põhjustab peavalu, unetust, stressireaktsioone. Pidev keha kokkupuude võib põhjustada juuste väljalangemist, krooniliste haiguste ägenemist, tõsise vaimuhaiguse teket. See on eriti ohtlik rasedatele naistele, kuna see võib tekitada raseduse katkemist, enneaegset sündi, lapse defektide tekkimist (Malakhov, 2003).

4.2 Keskkonnasaaste mõju fenotüübi arengule

Maa biosfäär on üha enam mõjustatud inimtekkelise keskkonnasaaste poolt. Tööstusliku ja kodumaise päritoluga ohtlike saasteainete vabanemine biosfääri mõjutab omakorda elusorganismide tervist. (Serdyukova ja Barabanshikov, 2018)

4.2.1 Õhusaaste

Õhusaaste on segu nanoosakestest, paljudest erinevatest gaasidest, orgaanilistest ühenditest ja metalliioonidest. Õhusaaste tekitab enamasti hingamisteede, närvisüsteemi ja südame-veresoonkonna haigusi, mille mõjud noorloomade arengule ja tervisele sõltuvad saaste tugevusest (Costa et al. 2014). *Mexico City* saastunud õhk põhjustab oksüdatiivset stressi ja selle kaudu neurodegeneratsiooni ja DNA kahjustusi erinevates ajupiirkondades tänavatel elavatel koertel ja närilistel (Costa et al. 2014). Hiirtel läbi viidud uuringus näidati eksperimentaalselt õhus oleva tsemenditolmu negatiivset mõju noorloomade kasvule ja kopsudele (Akinola et al., 2008). Eksperimentaalses katses oli 10 albiinorotti tsemenditehases tsemenditolmu mõju all kuus nädalat. Ülejäänud kaks kontrollrühma hoiti tsemenditolmust vabas keskkonnas, kuid samas kliimas. Tsemenditolmuga kokku puutunud rottide kaal oli 2., 4. ja 6. nädalal oluliselt madalam kui tsemendivabas piirkonnas. Kaaluerinevus suureneb koos tsemenditolmuga kokkupuutumise perioodiga (Akinola et al., 2008).

Table 1: Weight of rats exposed to cement dust at the start to the end of experiment

| Rat | Sex | Weight of rats (g) | | | |
|-----|-----|--------------------|----------|----------|----------|
| | | 0 day | 2nd week | 4th week | 6th week |
| A | F | 88.5 | 131.0 | 143.1 | 167.1 |
| B | F | 89.0 | 132.0 | 142.5 | 169.1 |
| C | F | 88.0 | 131.2 | 142.9 | 167.4 |
| D | F | 87.9 | 131.7 | 143.2 | 168.3 |
| E | F | 89.1 | 133.1 | 143.3 | 167.9 |
| F | M | 108.9 | 174.5 | 198.9 | 201.5 |
| G | M | 108.7 | 169.0 | 198.3 | 202.4 |
| H | M | 107.5 | 173.0 | 196.9 | 203.2 |
| I | M | 108.8 | 173.9 | 197.9 | 202.8 |
| J | M | 108.3 | 172.3 | 198.8 | 201.9 |

Table 2: Weight of rats at cement dust free location at the start to the end of experiment

| Rat | Sex | Weight of rats (g) | | | |
|-----|-----|--------------------|----------|----------|----------|
| | | 0 day | 2nd week | 4th week | 6th week |
| K | F | 88.3 | 145.5 | 180.3 | 202.5 |
| L | M | 107.9 | 199.0 | 217.0 | 227.6 |

Joonis 4. Tsemenditolmu mõju noorloomade kehakaalu suurenemisele seoses kasvamisega (Akinola et al., 2008)

Kopsude keemiline analüüs eksponeeritud rottidel näitas kõrgel tasemel kaltsiumi, räni, tsinki, alumiiniumi ja rauaosakesi, võrreldes eksponeerimata rottidega. Siseorganite histopatoloogiline uurimine eksponeeritud rottidel näitas südamelihaskiudude arvu vähenemist

interfaasi ödeemi, hüaliniseerimist, progresseeruvat nekroosi ja südamerakkude atroofiat. Maksal esines rakkude ödeem, kudede verejooks ja osaline nekroos. Neerudes täheldati kortikaalset nekroosi ja rakulist atroofiat ning kopsudes interstitsiaalset turset ja rakulist atroofiat. Tulemused näitavad, et tsemenditolm on patogeenne ja toksiline. Pole kahtlust, et tsemenditehas töötavad inimesed võivad sattuda kokku mitmesuguste tsemenditolmuga kokkupuutuvate haigustega (Akinola et al., 2008).

Idurakkude moodustumine ja küpsemine, viljastamine, embrüo areng ja kasv on väliste tegurite mõju suhtes väga tundlikud protsessid. Keskkonnategurite mõjul esinevad patoloogilised muutused erinevates elundites ja süsteemides, funktsionaalsed, morfoloogilised ja geneetilised muutused organismis. Ja see tähendab, et sündimata organismil on palju ökoloogilisi eeltingimusi defektide, sünnidefektide ja patoloogiate tekkeks.

Peamised planeedi keskkonnareostuse allikad on soojuselektrijaamad, metallurgia- ja keemiaettevõtted, katlamajad. (Danilov-Danilyan, 2010) Need on õhus esinevate kahjulike gaaside peamised allikad: väävel- ja süsinikdioksiid, dilämmastikoksiid, vesiniksulfiid, kloor, fluor, ammoniaak, fosforiühendid, elavhõbeda ja arseeni osakesed ja ühendid ning muud võrdselt ohtlikud ained. (Isidorov, 1999). Mõned põllukultuurid sõltuvad rohkem vee, väetiste ja pestitsiidide kasutamisest ning nende kasvatamine võib nõuda rohkem tööjõudu kui muud kultuurid. See võib põhjustada otsest või kaudset mõju piirkonna faunale.

Suuremahuline "tööstuslik" karjakasvatus toob kaasa suure hulga jäätmete tekke sõnniku kujul jne. On palju näiteid ladustatud sõnniku juhusliku sattumise pinnavette, mis põhjustab suurt reostust (Danilov-Danilyan, 2010). Lisaks sellele annab mahutites ladustatud või põllumajandusmaal kasutatavast sõnnikust ammoniaagi aurustamine eriti tundlikke ökosüsteeme toitainete sisalduse kriitiliseks koormuseks ning võib lisaks mõjutada töötavate ja elavate inimeste tervist ja heaolu.

4.2.2 Mürkkemikaalide mõju

Mürgist toimet avaldavad raskemetallid, mis kogunevad taime- ja loomakudedesse. Väikeses koguses on mõned rasked metallid vajalikud inimesele. Nendeks on vask, tsink, mangaan, raud, koobalt ja teised. Kuid nende sisalduse suurenemine normist kõrgemal põhjustab toksilist mõju ja kujutab endast ohtu tervisele. Metalle, mis ei ole bioloogilistes protsessides, nagu plii ja elavhõbe, ei ole kasulikud, määratletakse toksiliste metallidena. Kaadmiumiaur ja kõik selle ühendid on mürgised, mis on seotud eelkõige selle võimega siduda väävlit sisaldavaid ensüüme ja aminohappeid (Tchounwou et al, 2014). Eksperimentaalne uuring kanadega (*Gallus domesticus*) näitas, et ka väikesed Hg, Cd ja As kontsentratsioonid toidus põhjustavad olulist toitumise ja kasvukiiruse vähenemist noorlindudel (Okeke et al. 2015).

Elavhõbe. Elavhõbeda derivaadid võivad inaktiveerida ensüüme, eriti tsütokroomi oksüdaasi, mis on seotud raku hingamisega. Lisaks võib elavhõbe kombineerida sulfhüdrüül- ja fosfaatrühmadega ning seega kahjustada rakumembraane. Elavhõbedaühendid on toksilisemad kui elavhõbe (Isidorov, 1999).

Elavhõbeda mürgistuse morfoloogilisi muutusi täheldatakse seal, kus metallide kõrgeim kontsentratsioon, see tähendab suuõõnes, maos, neerudes ja käärsöoles. Lisaks võib kannatada närvisüsteem. Kuna elavhõbe adsorbeerub setetes, võib see aeglaselt vabaneda ja vees lahustuda, mis põhjustab kroonilise reostuse allika ja selle mõju kestab kaua pärast algse saasteallika kadumist (Isidorov, 1999).

Arseen. Soolad, oksiidid ja arseeniaurud on äärmiselt ohtlikud. Arseeni baasil valmistatud preparaate kasutatakse herbitsiididena puuviljade, insektitsiidide, roti mürgi ja paljude tööstusprotsesside pihustamiseks. Krooniline mürgistus, mis on tingitud pikaajalisest kokkupuutest arseenitolmu ja -aurudega nii tööstuses kui ka põllumajanduses, on sageli meie eluea lühenemise põhjuseks (Serdyukova ja Barabanshchikov, 2018).

Plii. Plii on metall, millel on neurotoksiline toime närvisüsteemi arenemisele. Neuroloogilisi häireid järglastel võib seostada plii mõjuga embrüotele, samuti rinnaga toitmise ajal ja varases lapsepõlves (Leila Alaya-Ltifi, Nawel Hayder-Benyahya, Slaheddine Selmi, 2015).

Plii akumulēerub skeletis ja selle vabanemine luudest raseduse ja imetamise ajal mõjutab embrüoid ja imetatud imikuid. Üks anorgaaniliste pliiühendite kõige salakavalam mõju on tema võime luudes asendada kaltsiumi ja olla pikaajaline mürgitusallikas (Leila Alaya-Ltifi, Nawel Hayder-Benyahya, Slaheddine Selmi, 2015).

Kaadmium. Väetised on kaadmiumiga saastumise võimalik allikas. Kaadium satub koos teiste ainetega toitu kasutavatesse taimedesse ja taimede kaudu loomadesse. Kaadmium tungib hõlpsasti pinnavee ja põhjavee kaudu merevette ja ookeanisse. Kaadmiumiühendid pärsivad närvisüsteemi, mõjutavad hingamisteid ja põhjustavad muutusi siseorganites (Leila Alaya-Ltifi, Nawel Hayder-Benyahya, Slaheddine Selmi, 2015).

Dioksiinid. Lisaks raskmetallidele on eriti ohtlikud saasteained klooriderivaatidest ja aromaatsete süsivesinike fluori derivaatidest moodustunud dioksiinid. Kasutatakse bakteritsiidsete ja herbitsiidsete preparaatide valmistamiseks. Dioksiinid praktiliselt ei eemaldu pinnast ja veekeskkonnast. Need on inimestele ja loomadele äärmiselt toksilised, isegi väga väikestes kontsentratsioonides, kahjustavad maksa, neerusid, immuunsüsteemi, omavad kantserogeenset, teratogeenset ja mutageenset toimet. Dioksiinid võivad moodustuda kõikjal, kus on vaba kloori (Leijds et al 2009). Praegu peetakse neid kõige ohtlikumaks supertoksikandiks. Mitmed korrelatiivsed uuringud inimestel näitavad, et dioksiinide kontsentratsiooni suurenemine

veres (mis enamasti esineb suurlinnades) suurendab noorte tüdrukute kehakaalu puberteedis ja aeglustab noormeestel sekundaarsete sugutunnuste (genitaalide ja karvade kasv) arenemist ning vähendab peenise suurust ja suguküpsuseks saamise vanust (Leijs et al 2009).

4.2.3 Antibiootikumijäägid keskkonnas

Erinevalt pestitsiididest, mis on pikka aega kasutatud põllumajanduses, ei tekitanud antibiootikumid huvi potentsiaalsete keskkonna saasteainetena. Kuid nende kasutamise intensiivistamise tõttu kõigis põllumajanduse valdkondades pööratakse praegu erilist tähelepanu looduslike ökosüsteemide antibiootikumidega saastumise probleemile. Kuna teadmised antibiootikumide mõjust süvenesid, hakkasid kogunema andmed neid sisaldavate ravimite kontrollimatu kasutamise negatiivsete mõjude kohta. Näiteks hiljuti inimesel läbi viidud teadusuuring leidis olulise positiivse seose antibiootikumide sisaldavate ravimite kasutamise ning väikelaste kehasuuruse ning ülekaalulisuse vahel (Trasande et al, 2013).

Igal aastal leidub üha enam antibiootikume reovees, pinnases, põhjavees ja joogivees (King, 2018). Enamik antibiootikume satub pinnasesse põllumajandusloomadest sõnniku kaudu, mida kasutatakse põllumajandusmaal väetisena. Meditsiinipraktikas, põllumajanduses ja toiduainetööstuses on laialt levinud mitmesuguste keemiliste omadustega antibiootikumid, mis mõjutavad mikroobide ökoloogilist tasakaalu ökosüsteemides ja ka loomade soolestikus (Grennia et al., 2018). Antibiootikumid pärsvad mitte ainult mikroorganismide tundlike vormide arengut, vaid nende massiivne praktiline kasutamine toob kaasa ka mikroorganismide ebatüüpiliste tüvede leviku ja esinemise. Üha enam rakendatakse uusi antibiootilisi preparaate, et võidelda antibiootikumidele resistentsete mikroorganismide vormidega, mis omakorda viib resistentsete mikroorganismide vormide tekkeni. Antibiootikumide selline laialdane praktiline kasutamine, ksenobiootikumide levik ja suur hulk keemiliselt sünteesitud aineid, mida kasutatakse põllumajanduses, põhjustab olulisi muutusi ontogeneesis (King, 2018). Võib oletada, et antibiootikumijääkide suurenemine keskkonnas mõjutab kasvukiirust ja kehasuurust paljudel selgroogsetel loomadel, aga siiani on see väheuuritud valdkond.

4.2.4 Radioaktiivne kiirgus

Pärast õnnetust Fukushima tuumaelektrijaamas on teadlased uurinud sarnaste loodusõnnetuste mõju tervisele, näiteks morfoloogilised kõrvalekalded lehetäidel (*Tetraneura sorini*, *T. nigriabdominalis*), hematoloogilised häired karpkalal (*Cyprinus sagru*) ja kromosomaalsed aberratsioonid metsanärilistel (*Apodemus argenteus*, *Mus musculus*) (Hayama et al, 2017)

Üks nendest uuringutest viidi läbi Fukushima ahvidel (*Macaca fuscata*), kel vähenes oluliselt valge- ja punaliblede arv veres, hemoglobiini ja hematokriti tase ja leukotsüütide arv. Noorloomade paljud verenäitajad olid negatiivses korrelatsioonis tseesiumisisaldusega lihaskoes. Need tulemused näitasid, et lühiajaline kokkupuude mis tahes radioaktiivse materjaliga põhjustab hematoloogilisi muutusi. (Hayama et al, 2017)

4.2.5 Valgusreostus

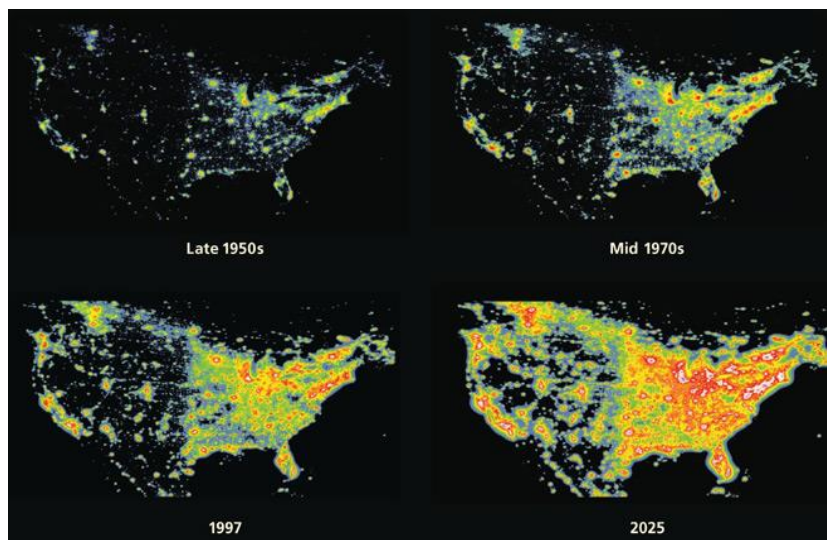
Paljud uuringud on näidanud, et valgusereostus mõjutab:

- igapäevaseid bioloogilisi sündmusi loomadel (sealhulgas lindude laulmine, toidu otsing, kehaline aktiivsus, uni, ainevahetus ja seedimine);
- sesoonseid bioloogilisi sündmusi taimedel (sealhulgas kasv, paljunemine, ränne, pungade moodustumine, õitsemine, tolmlamine, lehestiku kukkumine);
- |Kuutsüklite mõju bioloogilistele sündmustele (näiteks kudede ja muude bioloogiliste protsesside teke organismidele, mis on vastuvõtlikud Kuu tsüklitele).

Liigse valguse tõttu hakkab vesi õitsema ja fütoplankton areneb veekogudes.

Hapnikusisaldus vees väheneb ja veeelustik hakkab surema.

Melatoniin on hormoon, mis vastutab inimese ööpäevase rütmi reguleerimise eest (reguleerib une ja ärkveloleku tsükleid) ning takistab ka vähirakkude teket. Seda hormooni toodetakse ainult öösel, mil on minimaalse kokkupuude ärritustega, sealhulgas valgusega (Navara and Nelson, 2007).



joonis 5. suurenenud valgusreostus

Oletatakse, et valgusreostus mõjutab oluliselt loomade aktiivsusperioodi, toitumiskäitumist ja suurendab hämaras ja päeval ajal toituvate loomade toidukonkurentsi

(Gaston et al. 2017). Seega võiks üheks potentsiaalseks uurimissuunaks olla valgusereostuse mõju seostamine sigimisedukuse ja järglaste fenotüübi kujunemisega.

4.3 Keskkonnastressi mõju organismide psühholoogilistele funktsioonidele

Hiljutised uuringud on näidanud, et epigeneetilised muutused genoomis võivad olla mingi vahepealsed mehhanismid stressi tekitavate keskkonnategurite põhjustatud fenotüübilise plastilisuse ja geenide polümorfismist põhjustatud fenotüübi muutuse vahel.

Käitumismustrites muutub keskkonna epigeneetiline roll tähtsamaks kui kromosomaalsete geneetiliste mehhanismide roll. Niisiis on varajase arenguetapi ajal tekkinud stressist tingitud tõendeid epigeneetiliste muudatuste kohta, mis toimusid enesetapu tagajärjel surnud isikute kehas (Rozanov, 2015). Epigeneetika mõju mõistmine psühho-füsioloogilistele reaktsioonidele võib aidata jälgida ja vältida selliste reaktsioonide esinemist inimestel.

Õhusaaste mõju käitumisele võib ilmned epigeneetiliste muutuste kaudu (Newbury et al., 2019). Lapsed ja noored puutuvad kõige rohkem kokku saastunud õhu negatiivsete tagajärgedega. Eksperdid leidsid ka seose väikeste saastavate osakeste ja inimese emotsionaalse seisundi vahel. Seega esines saasteainete kõrge kontsentratsiooniga piirkondades elavatel noortel 45% suurema tõenäosusega mitmesuguseid vaimseid häireid (Newbury et al., 2019). Katse tulemused on teaduslikult ja praktiliselt olulised, sest esimest korda näitavad nad, et inimese ökoloogilise olukorra ja vaimse tervise vahel on otsene seos. Nagu teadlased rõhutavad, tõestab see uuring, et õhusaaste mõjutab mitte ainult südame-veresoonkonna ja hingamisteede seisundit, vaid kahjustab ka noorte vaimset seisundit. (Newbury et al., 2019).

5. Kokkuvõte

Käesolev bakalaureusetöö annab ülevaate üha suureneva keskkonnasaaste mõjust selgroogsete loomade erinevatele arenguaspektidele ja neid muutusi põhjustavatele füsioloogilistele mehhanismidele.

Uudsete ja väheuuritud aspektidena tooksin esile järgmisi valdkondi. Üha rohkem on hakatud kirjeldama füsioloogilisi mehhanisme, kuidas valgusreostus mõjutab selgroogsetel bioloogilisi rütme. Valgusreostuse bioloogiline mõju loomade aktiivsuseperioodile ja sigimisedukusele on aga suuresti läbi uurimata. Loomakasvatustes laialdaselt kasutatavad ravimid, peamiselt antibiootikumid, on samuti suureks ohuks elusorganismide tervisele, võivad põhjustada kehakaalu suurenemist ja sugulise valiku tunnuste väljaarenemist. Seega võiks üheks perspektiivikaks uurimisvaldkonnaks olla sugulise valiku ja keskkonnasaaste vaheliste seoste uurimine. Käesolevast tööst selgus, et teatud juhtudel võivad antibiootikumijäägid hoopis suurendada isendite konkurentsivõimet, näiteks laulurepertuaari suurenemine lindudel või kasvukiiruse mõjutamine imetajatel. Kolmandaks rõhutaksin mürkemikaalide tähtsust soo määramisele kahepaiksetel ja roomajatel. Siiani on näiteid vähe, aga muutuv ja saastatud keskkonnas võib sugude suhte drastiline muutus saada suureks ohuks teatud liikide säilimisele.

Neljandaks, reproduktiivtervise häirete probleemid, raseduse ja sünnituse patoloogia, imiku- ja laste suremuse kasv on viimasel ajal muutunud kõige olulisemaks keskkonnaseisundi muutumise tõttu. Väga paljude haiguste ja arenguliste (somaatiliste ja neuroloogiliste) defektide sagenemine on seotud keskkonnasaastega, aga mehhanismide ja seoste tuvastamine nõuaks eksperimentaalset lähenemist. Käesolevas töös on enamiks inimestel tehtud teadustöid korrelatiivsed ja põhjuslike seoste eksperimentaalne testimine teistel imetajatel või lindudel aitaks väga palju kaasa antud valdkonna arengule.

„Saaste on suur probleem, mida inimesed ei näe, sest nad vaatavad hajutatud tükki,” ütleb Sinai meditsiinikeskuse töötaja Philip Landrigan. “Seal on olnud palju saastet käsitlevaid uuringuid, kuid nad ei ole kunagi saanud nii palju ressursse ja tähelepanu kui AIDS või kliimamuutused”.

Kõige tagasihoidlikumate hinnangute kohaselt sureb igal aastal üle 9 miljoni inimese mitmesuguste reostusega seotud haiguste tõttu. See on umbes kolm korda suurem kui AIDSi, malaaria ja tuberkuloosi tagajärjel surnud inimeste arv, mis on kuus korda suurem kui liiklusõnnetuste ohvrite arv ja rohkem kui 15 korda rohkem kui surnud sõdade ja muude vägivaldsete tegude tõttu.

Niisiis, läbiviidud uuring tõestab keskkonnategurite mõju olulisust erinevate organismide tervisele.

Teiste keskkonnategurite reostust mõjutavate multifaktoriliste mõjude uurimine võimaldab meil paremini mõista endogeensete rütmide olulist rolli loomade iga-aastaste tsüklite reguleerimisel, nende paljunemisfunktsioonides, geneetilise kontrolli üldiste mustrite kindlakstegemisel ja nende mõju all olevate erinevate liikide füsioloogiliste protsesside plastilisuse hindamisel.

This bachelor work gives an imagination of growing environmental contamination impact on different aspects of vertebrates development and psychicalogical mechanisms, that cause these changes.

As new and not enough studied aspects, I would emphasize forward areas. The impact of light contamination on different rythmes of vertebrates is becoming more described than ever. However, the biological effect of light pollution on the period of activity and reproductive success of the animals is largely unexplored. Drugs widely used in animal husbandry, mainly antibiotics, are also a major threat to the health of living organisms, can lead to weight gain and the development of sexual selection traits. Therefore, on of the most research perspective direction could become the relationship between sexual choice and environmental contamination. On the results of this work, was found out, that in some cases the rest of antibiotics can increase the competitiveness of individuals. For instance, the increasing of bird`s song repertoire. Also notice the importance of toxic chemicals for different amphebys` and reptiles` sex. However, the examples is not so much, the unpredictable changes is sex balance caused by environmental contamination could become a serious threat for surviving of kind individuals.

Fourthly, the problems of reproductive health, the pathology of pregnancy and childbirth, infant and child mortality have recently become most important due to changes in the state of the environment. The increased incidence of many diseases and developmental (somatic and neurological) defects is associated with environmental pollution, but the identification of mechanisms and relationships would require an experimental approach. In this work, the majority of human research work is correlative and experimental testing of causal relationships in other mammals or birds would greatly contribute to the development of this field.

"Pollution is a big problem that people don't see because they look at scattered pieces," says Philip Landrigan, Sinai Medical Center employee. "There has been a lot of research on pollution, but they have never received as much resources and attention as AIDS or climate change".

According to the most modest estimates, over 9 million people die each year due to various pollution-related diseases. It is about three times higher than the number of people killed

by AIDS, malaria and tuberculosis, which is six times higher than the number of road accident victims and more than 15 times the number of deaths and other violent acts.

So, the study carried out proves the importance of environmental factors for the health of different organisms.

The study of the multifactor effect on the body of pollution of other environmental factors allows us to better understand the fundamental role of endogenous rhythms in regulating the annual cycles of animals, their reproductive functions, to identify the general patterns of genetic control and to assess the level of plasticity of physiological processes in different species under their influence.

6. Tänuavaldused

Täna kõiki, kes aitasid kaasa selle töö valmimisele. Eelkõige olen tänulik oma juhendajatele Vallo Tilgarile lõputöö juhendamise, suunamise ja kõiksugu abi eest. Palju tänu sugulastele, kes alati toetavad mind.

7. Kasutatud kirjanduse loetelu

- Acevedo-Whitehouse K., Duffus A.L.J., (2009) Effects of environmental change on wildlife health. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.*; 364(1534): 3429–3438.
- Akinola M.O., Okwok N.A., Yahaya T., (2008). The Effects of Cement Dust on Albino Rats (*Rattus norvegicus*) Around West African Portland Cement Factory in Sagamu, Ogun State, Nigeria. *Research Journal of Environmental Toxicology*, 2: 1-8.
- Beldomenico P.M, Telfer S, Gebert S, Lukomski L, Bennett M, Begon M (2008) Poor condition and infection: a vicious circle in natural populations.
- Biello D., (2008) Plastic (not) fantastic: Food containers leach a potentially harmful chemical. *Scientific American*. 2.
- Bova T.L., Chiavaccini L., Cline G.F., Hart C.G., Matheny K., Muth A. M., Voelz B. E., Kesler D., Memili E., (2014) Environmental stressors influencing hormones and systems physiology in cattle. *Reprod Biol Endocrinol*. 12: 58.
- Brashears, A. (2012). *Singing in the Rain*. ASU - Ask A Biologist. Arizona State University.
- Brown T.P., Rumsby P.C., Capleton A.C., Rushton L., Levy L.S., (2006) Pesticides and Parkinson's disease--is there a link? *Environ Health Perspect*; 114(2):156-64.
- Calafat, A.M., (2008) Exposure of the U.S. population to bisphenol A and 4-tertiary-octylphenol, *Environ. Health Perspect.* 116, lk. 39–44.
- Costa L.G., Cole T.B., Coburn J., Yu-Chi Chang, Khoi Dao, Roque P., (2014) *Neurotoxicants Are in the Air: Convergence of Human, Animal*, Hindawi Publishing Corporation, BioMed Research International, Vol. 2014, Article ID 736385.
- Cunliffe, V.T., (2016). The epigenetic impacts of social stress: how does social adversity become biologically embedded? *Epigenomics*. 8(12):1653-1669.
- Danilov-Danilyan, V.I., (2010) *Ökoloogiline entsüklopeedia*, lk 53-75.
- Darbre, P.D., (2018) Overview of air pollution and endocrine disorders. *Int J Gen Med*. 11:191–207.
- Elliott, M. (2003) Biological pollutants and biological pollution - an increasing cause for concern. *Marine Pollution Bulletin* 46, lk 275-280.
- Erler, C., Novak, J., (2010). "Bisphenol a exposure: human risk and health policy". *J Pediatr Nurs*. 25 (5): 400–7.
- Galaktionov, V.G., (2005) *Evolutsiooniline immunoloogia*, lk 408.

Gaston, K. J., Davies, T.W., Nedelec, S. L. ja Holt, L. A. (2017) Impacts of Artificial Light at Night on Biological Timings. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48: 49–68.

Glazko, V.I., (2008) Ioniseeriva kiirguse mõju imetajate populatsiooni geneetilistele parameetritele, TAA toimingud, väljaanne 1, lk 178-188.

Grennia, P., Anconab, V., Caraccioloa, A.B., (2018) Ecological effects of antibiotics on natural ecosystems: A review *Microchemical Journal*, Vol.136, pp 25-39.

Heather, G., (2003) Effect of air pollution on agricultural crops. *Mimsfiy of Agriculture, Ontario. Air Pollution on Agricultural Crops*, Order No. 85-002

Hooke, B., (1988) The danger of technogenesis to future generations, *Biochem. J*, Vol. 18. – lk. 13.

Ikezuki, Y., (2002) Determination of bisphenol A concentrations in human biological fluids reveals significant early prenatal exposure. *Hum. Reprod.* – 17, lk. 2839-2841.

Iljina, L.A., Filova, V.A., (1990) Kahjulikud kemikaalid. *Radioaktiivsed ained. Teatmik*, lk. 50-57.

Isidorov, V.A., (1999) Keemilise ökotoksikoloogia tutvustus, lk. 77-81.

Issels, I.M. (2001) Information on Detoxification. *Issels Cancer Immunotherapy*.

King, A., (2018) Why antibiotic pollution is a global threat. *Chemistry world*.

Komdeur, J. and Pen, I., (2002). Adaptive sex allocation in birds: the complexities of linking theory and practice. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 357, 373–380.

Korsak, M.N., (2013) Mõnede saasteainete mõju Arktika mere mereökosüsteemide seisundile, *Rahvastiku tervis ja elupaik*. 247 № 10. lk. 22-25.

Kronfeld-Schor, N., Bloch, G., Schwartz, W. J., (2013) Animal clocks: when science meets nature. *Proceedings. Biological Sciences*, 280(1765):20131354

Kundakovic, M., (2013) Sex-specific epigenetic disruption and behavioral changes following low-dose in utero bisphenol A exposure, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 110, lk. 9956-9961.

Lanphear B.P., (2015) The Impact of Toxins on the Developing Brain, *Annual Review of Public Health* 36:1, 211-230.

Leijds, M.M., L.M. van der Linden, Koppe J.G., P. de Voogt, Olie K., W.M. van Aalderen, G.W. ten Tusscher (2009) Toxic effects of dioxins, PCBs and PBDEs in adolescents. *University of Amsterdam*.

Leila Alaya-Ltifi, Nawel Hayder-Benyahya, Slaheddine Selmi (2015) Condition and Health of Rufous Bush Robin (*Cercotrichas galactotes*) Nestlings in a Polluted Oasis Habitat in Southern Tunisia, *Bulletin of environmental contamination and toxicology*.

Levyh, A.Yu., (2014) Mittemetriliste tunnuste epigeneetilise varieeruvuse erinevate inimtekkelise stressiga populatsioonide populatsioonidest. Teaduslik ülevaade. Bioloogia. № 1. lk 79.

Lichtveld, K., Thomas, K., Tulve, N.S., (2018) Chemical and non-chemical stressors affecting childhood obesity: a systematic scoping review. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, Vol: 28, pp 1–12.

Linzey, A.V. (1988) Effects of chronic polychlorinated biphenyls exposure on growth and reproduction of second generation white-footed mice (*Peromyscus leucopus*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 17, Issue 1, lk 39–45.

Liu B., Zhou S., Yang C., Chen P., Chen P., Xi D., Zhu H., Gao Y., (2017) *Oncotarget*. 8(54): 92359–92365.

Lovett, G.M., Tear, T.H., Evers, D.C., Findlay, S.E., Cosby, B.J., Dunscomb, J.K., Driscoll, C.T., Weathers, K.C., (2009) *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1162:99-135.

Machtinger, R., (2013) Bisphenol A and human oocyte maturation in vitro. *Hum. Reprod.* – 28, lk. 2735-2745.

Malakhov, G.P., (2003) Elektromagnetiline kiirgus ja teie tervis, lk 128.

Malyshev, A.A., (2009) Keskkonna ja pärilikkuse mõju veiste paljunemisomadustele, *Ulyanovski Riikliku Põllumajanduse Akadeemia bulletin*, lk. 88-90.

Markman, S., Leitner, S., Catchpole, C., Barnsley, S., Muller, C.T., (2008) Pollutants Increase Song Complexity and the Volume of the Brain Area HVC in a Songbird.

Mashkov, A.S., (2001) Tseesium- ja strontsiumradionukliididega saastunud liha veterinaar-sanitaarkontroll, lk. 12-15.

Modi, W.S., Crews, D., (2005) Sex chromosomes and sex determination in reptiles. *Current Opinion in Genetics & Development*, lk 660–665.

Mormede, S., Davies, I.M., (2001) Polychlorobiphenyl and pesticide residues in monk fish *Lophius piscatorius* and black scabbard *Aphanopus carbo* from the Rock all Trough. *ICES Journal of Marine Science*, 58: 725–736.

Navara, K.J., Nelson, R.J., (2007) The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research*. Vol. 43, pp. 215-224.

Newbury, J.B., Arseneault, L., Beevers, S., Kitwiroon, N., Roberts, S., Pariante, C.M., Kelly, F.J., Fisher, H.L., (2019) Association of air pollution with psychotic experiences during adolescence. *JAMA Psychiatry*. doi: 10.1001.

Okeke, O. R., (2015) Effect of different levels of Cadmium, Lead and Arsenic on the Growth Performance of Boiler and Layer Chickens. *IOSR Journal of Applied Chemistry*.

- Panagiota, M. (2006) Molecular patterns of sex determination in the animal kingdom: a comparative study of the biology of reproduction, lk. 1–23.
- Quinn, A., (2007) How is the gender of some reptiles determined by temperature? Scientific American, a Division of Springer Nature America, Inc.
- Raptis, C.E., Vliet, M.T.H., Pfister, S. (2016), Environmental Research Letters, Vol. 11, №10.
- Rodichenko, E.P., (2013) Kroonilise ekspositsiooni mõju ddt väikestele doosidele rottide, E.P. Tüümuse morfofunktsionaalsele olekule. Vene meditsiini bioloogiline teadaanne akadeemiku I.P. Pavlova, №2, lk 36-42.
- Rohr, J. R., McCoy, K. A., (2009) A Qualitative Meta-Analysis Reveals Consistent Effects of Atrazine on Freshwater Fish and Amphibians. Environ Health Perspect. 118(1): lk. 20–32.
- Rozanov, V.A., (2015) Stressist tingitud epigeneetilised nähtused - teine tõenäoline bioloogiline tegur enesetapuks. Suitsiidoloogia. Teaduslik ja praktiline ajakiri. Vol. 6, nr 3 lk 3-16.
- Sanderfoot, O.V., Holloway, T., (2017) Air pollution impacts on avian species via inhalation exposure and associated outcomes. Environmental Research Letters, Vol. 12, №8.
- Sarah, B. M. (2002) Sex Determining Mechanisms in Vertebrates, lk. 158-178.
- Schell, L. M., Gallo M. V., Denham, M., Ravenscroft J. (2006) Effects of Pollution on Human Growth and Development: An Introduction. Journal of Physiological Anthropology: 103-12.
- Seleznjev, S.B., (2000) Immuunsüsteemi fenogenees. PFUR, lk 203.
- Serdyukova, A. F., Barabanshchikov D. A., (2018) Tööstusjäätmete keskkonnareostus. Noor teadlane, lk 28-31.
- Serykh, M.M., (2006) Loomade immuunsuse fenogeneesi ja ontogeneesi kaasaegsed mõisted, SamSU sõnumitooja, Loodusteaduste seeria, № 9, lk 246-253.
- Shin-ichi Hayama, Moe Tsuchiya, Kazuhiko Ochiai, Sachie Nakiri, Setsuko Nakanishi, Naomi Ishii, Takuya Kato, Aki Tanaka, Fumiharu Konno, Yoshi Kawamoto and Toshinori Omi (2017) Small head size and delayed body weight growth in wild Japanese monkey fetuses after the Fukushima Daiichi nuclear disaster, Scientific Reports volume 7, Article number: 3528
- Skalny, A.V., Agadzanjan, N.A., (2001) Keemilised elemendid keskkonnas ja inimese ökoloogiline portree, lk 44-78.
- Sleight, S., (1985) Effects of PCBs and related compounds on hepatocarcinogenesis in rats and mice. Environ Health Perspect. 60: 35–39.

- Smith, C. A. (2003) DMRT1 is up-regulated in the gonads during female-to-male sex reversal in ZW chicken embryos, lk. 560–570.
- Tagirov, M. T., (2013) Lindude soo kontrollimise ja määramise mehhanismid, lk. 62-72.
- Tchounwou, P. B., Yedjou C.G., Patlolla A. K., Sutton D.J., (2014) Heavy Metals Toxicity and the Environment. *Experientia supplementum*, 101:133-64.
- Tikhomirov, F.A., (1983) Joodi radioekoloogia. Lk 31-34.
- Trasandel L., Blustein J., Liu M., Corwin E., Cox L.M., Blaser M.J., (2013) Infant antibiotic exposures and early-life body mass. *International Journal of Obesity* 37, 16–23.
- Uddin, M. N., (2018) Determination of Traffic Induced Noise Pollution and its Impact on City Dwellers in the Chittagong City Area. *European Scientific Journal*. Vol.14, No.8
- Volozhin, A. I., (1998) Haigus ja tervis: kohanemise kaks külge, lk 126.
- Wen, Y., Schoups, G., Giesen, N., (2017) Organic pollution of rivers: Combined threats of urbanization, livestock farming and global climate change. *Scientific Reports*. 23;7:43289.
- Zaitsev, V.V., (2005) Karjade loodusliku resistentsuse näitajate seos reproduktiivsete omadustega, Venemaa Föderatsiooni sealihatootmise tegelikud probleemid - pos. Persianovski Rostovi piirkond, lk 84-86.